

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: X2006230061

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于无线加速度传感器网络的  
医疗辅助康复系统

A Study of an Aided System Based On Wireless Acceleration  
Sensor Network for Medical Rehabilitation

王 韧

指导教师姓名: 姚俊峰 副教授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2008 年 1 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2008 年 1 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

## 摘要

本文提出一套基于无线加速度传感器网络、远程测控技术和跨平台智能终端的医疗辅助康复系统。对比传统辅助康复系统，本系统在肢体受创病人的辅助康复过程的多个方面和环节表现出较大的优势，利用高敏感度的三轴加速度传感器精确记录身体各主要关节的运动轨迹和力度，并在超标情况给出语音提示，克服了以往系统非柔性、依赖个人经验、无法精确记录和场地受限等缺点。

提供一种架构在多种传输介质上的透明网络，并实现了PC、PDA、手机等智能终端的实时接入，使医生、病人、病人家属不再受到时间和空间上的制约，可以在任何地方接入此网络，病人可以在家进行康复训练，系统将实时数据和视频发送给医生或病人家属，身处异地的医生们可以通过此网络进行会诊，并与病人交换意见。此外还可利用积累的临床信息创建医疗数据仓库，并在此数据仓库中进行数据挖掘。随着医疗界对加速度曲线的接触增多，希望日后的医生看到关节加速度曲线时，如同看到心电图那般，很容易可以得知该关节的病理情况。

针对康复训练的过程痛苦而枯燥的情况，提出“康复训练过程游戏化”的概念，将肢体动作控制的游戏融入到康复训练过程中，使训练过程变得有趣而多样化，利于分散病患对肢体疼痛的注意力，让训练取得更好的效果。

**关键词：**无线传感器网络；医疗康复；远程测控；智能终端

## Abstract

This thesis presents an aided medical rehabilitation system, which is based on the combination of wireless acceleration sensors network, remote monitoring and control technologies and cross-platform intelligent terminal. Comparing with traditional aided medical rehabilitation system, the implementation of this system shows more advantages in many aspects of rehabilitation process of limb-injured patient. Such as the precise in measuring the movement and force of major joints of body, supported by 3-axial accelerators in the system solve the problems in traditional systems, for examples non-flow process, personal experience centered, non-precise recording and limits of space and time.

By using this system proposed in the paper, doctors, patients and their families can access this network no matter where they were, because of a transparent network, building on vary transmission mediums. Implementation of PC, PDA , mobile phone and other intelligent terminal real-time accessing network, this system support patients doing their rehabilitation exercises at home. While doctors can diagnose and exchange views with patients although not on the spot, by real-time data and video transmission. Furthermore, this system will create medical data warehouse by accumulation of clinical information, and mine data making use of the warehouse. The future of the aided medical rehabilitation system is bright, since there are more and more opportunities to contact to acceleration curve.

The concept of 'enjoy in the process of rehabilitation' is to add games using Limb motor control into the rehabilitation exercises, so that the whole process will become so interesting and diverse, furthermore, will get a better result.

**Keywords:** Wireless Sensor Network (WSN); Medical Rehabilitation; Remote Measure-Control; Intelligent Terminal

## 目 录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 引言	1
1.2 医疗康复系统现状和前景	1
1.3 无线传感器网络研究现状和前景	3
1.4 本文研究的主要内容及意义	5
1.4.1 加速度测量的无线网络化、模块化	5
1.4.2 将网络化的精确运动模式检测引入医学界	5
1.4.3 实现加速度计在 PC、PDA 和手机三大智能平台的开发库	5
1.4.4 提出康复过程游戏化的概念	5
1.4.5 为可植入式无线传感器网络进行前期探索	5
<b>第二章 基于无线传感器网络的医疗辅助康复系统概述</b>	<b>6</b>
2.1 系统架构	6
2.1.1 可佩带式无线传感器网络	6
2.1.2 中继服务器	7
2.1.3 数据处理终端	7
2.2 与现有系统相比的优势	7
2.2.1 现有系统的不足	7
2.2.2 基于无线加速度传感器网络的医疗辅助康复系统的优势	8
2.3 系统预期效果	8
2.4 方案推广可行性分析	9
2.4.1 市场需求	9
2.4.2 价格因素	9
<b>第三章 无线传感器网络节点硬件设计</b>	<b>10</b>
3.1 双核无线加速度传感器网络节点架构	10
3.2 器件选型	11
3.2.1 三轴加速度传感器:MXR9500G/M	11
3.2.2 低功耗监控微控制器:ATmega168V	11

3.2.3 高性能微处理器:MC9S08GT60.....	12
3.2.4 ZigBee 协议与射频芯片:MC13192.....	12
3.3 电路设计.....	13
3.4 射频天线设计.....	18
3.5 节点封装.....	18
3.6 功耗测评.....	20
<b>第四章 无线传感器网络协议设计.....</b>	<b>21</b>
4.1 主流无线传感器网络协议介绍.....	21
4.1.1 基于数据的路由协议.....	21
4.1.2 基于层次的路由协议.....	22
4.1.3 基于位置的路由协议.....	22
4.1.4 基于网络流的路由协议.....	23
4.2 适用于医疗康复系统的无线传感器网络协议设计.....	24
4.3 网络协议在硬件节点上的实现.....	25
4.4 网络协议性能实测.....	26
<b>第五章 跨平台医疗辅助康复系统软件设计.....</b>	<b>27</b>
5.1 PC 平台.....	27
5.1.1 PC 平台本地数据采集系统.....	27
5.1.2 规范动作与提示策略.....	27
5.1.3 PC 平台 B/S 架构远程观测辅助系统.....	29
5.1.4 PC 平台语音识别、提示功能.....	32
5.2 PDA 平台架构.....	33
5.2.1 PDA 平台本地数据采集.....	34
5.2.2 PDA 平台 B/S 架构远程观测辅助系统.....	35
5.3 手机 J2ME 平台便携数据采集终端.....	36
5.4 流媒体服务器在远程医疗辅助康复中的应用.....	37
<b>第六章 系统实测案例分析.....</b>	<b>39</b>
6.1 韧带拉伤康复训练.....	39
6.2 偏瘫步态检测及康复训练.....	40

6.3 实测康复效果评估.....	41
<b>第七章 康复训练过程的游戏化.....</b>	<b>43</b>
7.1 三维手机游戏控制器.....	43
7.2 用手翻阅电子书.....	44
7.3 虚拟现实浏览器.....	44
<b>第八章 结论.....</b>	<b>46</b>
8.1 主要工作总结.....	46
8.2 下一步工作方向.....	47
致谢语.....	48
参考文献.....	49
附录.....	52



## Table of Contents

<b>Chapter 1 Introductions.</b>	1
<b>1. 1 Introductions.</b>	1
<b>1. 2 Background and development in rehabilitation system.</b>	1
<b>1. 3 Background and application of wireless sensor network.</b>	3
<b>1. 4 Content and significance of the research in this paper.</b>	5
1. 4. 1 Wireless networking and modeling of the measurement of acceleration.	5
1. 4. 2 Introducing the digitalized precise description of movement into medical practice.	5
1. 4. 3 Realizing the acceleration measures in multi-platforms of PC, PDA and mobile phone.	5
1. 4. 4 Introducing games into rehabilitation exercises.	5
1. 4. 5 Initial explore of implementable WSN.	5
<b>Chapter 2 Overview of the medical rehabilitation system based on wireless sensor network.</b>	6
<b>2. 1 System architecture.</b>	6
2. 1. 1 Wearable acceleration WSN.	6
2. 1. 2 WSN access server.	7
2. 1. 3 Data processing terminal.	7
<b>2. 2 The features of the new system via comparison to the current systems.</b>	7
2. 2. 1 The disadvantages of the current system.	7
2. 2. 2 The advantages of WSN based rehabilitation system.	8
<b>2. 3 Expected results.</b>	8
<b>2. 4 Feasibility Analysis of the programme promotion.</b>	9
2. 4. 1 Market needs analysis.	9
2. 4. 2 Price influence.	9

<b>Chapter 3 Hardware design for wireless sensor network node.</b>	<b>10</b>
<b>3. 1 Architecture of dual-core wireless sensor network node.</b>	<b>10</b>
<b>3. 2 Device selection.</b>	<b>11</b>
3. 2. 1 3-axis accelerator : MXR9500G/M.	11
3. 2. 2 Low power MCU : ATmega168V.	11
3. 2. 3 High performance MCU : MC9S08GT60.	12
3. 2. 4 ZigBee transceiver : MC13192.	12
<b>3. 3 Circuit design.</b>	<b>13</b>
<b>3. 4 RF antenna design</b>	<b>18</b>
<b>3. 5 Node package</b>	<b>18</b>
<b>3. 6 Power measurement and evaluation</b>	<b>20</b>
<b>Chapter 4 Protocol design for wireless sensor network.</b>	<b>21</b>
<b>4. 1 Introduction of mainstream protocols for wireless sensor network.</b>	<b>21</b>
4. 1. 1 Protocols based on data.	21
4. 1. 2 Protocols based on layer.	22
4. 1. 3 Protocols based on position.	22
4. 1. 4 Protocols based on network flow.	23
<b>4. 2 Protocol design for wireless sensor network applied for medical rehabilitation system.</b>	<b>24</b>
<b>4. 3 Protocol implementation on the node.</b>	<b>25</b>
<b>4. 4 Performance measurement of the network protocol.</b>	<b>26</b>
<b>Chapter 5 Software design for cross-platform aided medical rehabilitation system.</b>	<b>27</b>
<b>5. 1 PC platform.</b>	<b>27</b>
5. 1. 1 Local Data Acquisition System on PC.	27
5. 1. 2 Adjusting movements and feedback strategies.	27
5. 1. 3 B/S architecture for remote aided observation system on PC.	29
5. 1. 4 Speech recognition and alerts on PC.	32

<b>5.2 PDA platform</b> .....	33
5.2.1 Local Data Acquisition System on PDA.....	34
5.2.2 B/S architecture for remote aided observation system on PDA.....	35
<b>5.3 Mobile phone J2ME platform portable data collection terminal</b> ... ..	36
<b>5.4 The application of streaming media server in remote aided medical rehabilitation</b> .....	37
<b>Chaper 6 Measured case analysis</b> .....	39
<b>6.1 Rehabilitation training for the ligament injured</b> .....	39
<b>6.2 Gait detection and rehabilitation training for patients with hemiplegia</b> .....	40
<b>6.3 Evaluation of the measured rehabilitation training</b> .....	41
<b>Chaper 7 Integrate entertainments into the process of rehabilitation</b> .....	43
<b>7.1 3D mobile game controller</b> .....	43
<b>7.2 Turning pages of electronic books by hand</b> .....	44
<b>7.3 Virtual reality explorer</b> .....	44
<b>Chaper 8 Conclusion and implications</b> .....	46
<b>8.1 Summary of the study</b> .....	46
<b>8.2 Implications for further research</b> .....	47
<b>Acknowledgment</b> .....	48
<b>References</b> .....	49
<b>Appendix</b> .....	52

# 第一章 绪 论

## 1. 1 引言

康复训练作为运动功能障碍治疗过程中至关重要的一环,一直以来都是医学界研究的热点。随着生活水平的提供,生活品质越来越多地受到人们的关注,对于有肢体运动功能障碍的病患来说,康复训练的效果直接关系到他们日后的生活质量,甚至病患整个家庭的生活质量。但当前康复训练系统在成本、人工依赖、精度、灵活性上存在的种种不足导致大量病患无法得到切实有效康复训练,延误了治疗的最佳时机。

近年来,随着无线通讯、集成电路、传感器以及微机电系统(MEMS)等技术的飞速发展,使得以低成本、低功耗、智能化、高灵活度为特点的无线传感器网络技术的实现成为可能。将无线传感器网络技术引入到医疗康复领域,恰好可以弥补现有康复训练系统成本高、依赖人工经验和人工护理、无法精确测量评估和无法灵活适应多种训练模式等问题,是一次极具社会价值、科研价值和经济价值的学科交叉实践。

## 1. 2 医疗康复系统现状和前景

康复工程是现代科学技术与人体康复需求相结合的产物,其任务是研究与开发人体功能评估、诊断、恢复、代偿以及重残者护理所需的各种设施和方法<sup>[1]</sup>。一般说来,康复工程所涉及的是人体的外部功能,包括运动功能、视听功能、交流功能等,不涉及有关内脏的问题。随着科学技术进步和人类对康复要求的扩大,康复工程也在不断的发展。

康复训练系统是帮助残疾人解决生活中活动困难的一种工具,它可以在家里或在工作场所使用,使残疾人获得更强的独立生活能力,并相当大地提高他们的生活质量。康复训练系统的设计涉及多种学科技术的应用,它包括机械设计,机械结构的运动学、动力学仿真、病人的安全、人体运动状态测量、康复实验结果评定等多项技术。

过去几年,康复训练产业在欧洲已经有所发展,一些欧洲企业在技术开发及资金方面有了很大投入<sup>[2]</sup>。

CPM机是利用康复医学中连续被动运动的基本原理对受伤肢体进行康复治疗的机械装置,是目前为止唯一的一个机器人生物力学或生物物理化学类型的应用的例证。早在20世纪60年代初期就有医学团体运用CPM机进行了术后康复治疗的医学实践,此后也有用于膝、肩、肘关节等康复的CPM机出现。但由于受技术水平的限制,这类CPM机长期停留在“大关节”康复的范围内。目前,市场上已经有了用于腕关节和手指关节这样的“小关节”康复的CPM机,但他们还不能像“大关节”CPM机那样实现精确控制,不能对手指抓握等精巧的动作进行训练,治疗的效果还有待提高<sup>[3]</sup>。

在1993年, Lum等就研制了一种称作“手-物体-手”的系统,尝试对一只手功能受损的患者进行康复训练。1995年, HoganN和 KrebeHl等研制出一种称作MIT-MANUS的脑神经辅助康复机器人,该机器人采用五连杆机构(SCARA)。可以辅助或阻碍手臂的平面运动,也可以测量手的平面运动参数,并可以通过计算机屏幕为患者提供反馈。

美国麻省理工大学、退伍军人部康复研究与开发中心、加州大学和西北大学等都开展了大量工作<sup>[5]</sup>。其中退伍军人部康复研究与开发中心在已研制的五代生活助理机器人的基础上又在康复治疗机器人方面取得突破性进展。美国科学家在2000年研制了名为MIT-MAUS的手臂康复训练机器人样机, 斯坦福大学 对手臂康复训练机器人开展了研究工作, 在2000年推出了 the arm guide 和 mime 型手臂康复训练机器人样机。

随着科学技术的进步和医学与工程技术的纵深结合,在康复训练系统的机械本体技术方面,开发人员们根据康复医疗的现状指出应向着智能化、集成化、轻型化、微型化、舒适化及美观化的方向发展,具体体现在以下几个方面:

(1) 智能化与集成化: 按照传统的概念, 康复器械主要是指包括上、下肢和躯干在内的各种矫形器和假肢<sup>[1]</sup>。但近年来, 随着工程技术向康复医学的渗透, 康复器械的范围已经有所扩大。一方面, 矫形器和假肢本身的范围有所扩大, 出现了肌电控制的假肢。另一方面, 一些现代科学技术的进入, 如功能性电刺激、生物反馈、肌电信号和脑电信号用于控制, 机械的体内装置及环境控制系统等拓展了康复医学的研究领域, 使康复器械逐渐趋于智能化与集成化<sup>[2]</sup>。其表现在提高康复器械的智能化程度, 使其尽可能模拟人体的自然运动, 并结合人体工程学提高产品的舒适性。同时将单关节的康复器械集成为整个肢体的全关节康复器

械, 并改善其可穿戴性也成为康复器械发展的趋势。

(2) 轻型化与微型化: 随着新材料应用于康复器械, (如用聚乙烯、聚丙烯等热塑材料制作的康复器械发展很快), 各种类型不同的康复器械相继问世。这些材料共同优点是轻便、美观、卫生、可塑性好、加工方便。制成后的康复器械更加符合生物力学要求, 不仅穿戴时更加舒适, 同时也提高了治疗效果。

在康复训练过程中, 除了器械的限制, 人力资源的不足的问题尤其显得迫切<sup>[3]</sup>。康复系统需要外围医护人员、医疗场所支持, 要使患者全面或是部分运动功能的恢复, 实现生活的自理或部分自理, 需要一个较长的过程, 而且需要医护人员、家庭成员付出大量的时间去护理病人。一般情况下, 病人住院期间的下肢康复运动是由医务人员陪同进行的。由于医护人员的工作强度大, 时间紧, 且需要医治的病人多, 病人被迫运动的时间和效果难以得到保障; 在家卧床不起的患者, 受到经济和人员等因素的影响, 也很难以保证被迫运动的效果。另外, 从医学角度来说, 在患病初期被迫运动的效果最为明显, 然而此时需要被动运动要依靠别人的帮助完成足够的运动时间和运动强度, 才能达到一定的治疗效果。因而合格的医护人员的缺乏直接影响了病人的康复进程。

随着技术的进步, 康复训练系统必将创造出良好的医疗效果和巨大的商业利益。在当今这样一个“以人为本”的社会里, 以往在康复领域的费时、费力以及人力所不能及的工作必将更多地被新一代康复训练系统所取代。针对现有系统的不足, 将无线传感网络应用在医疗康复系统中正是本系统创新突破的特点之一。

### 1.3 无线传感器网络研究现状和前景

无线传感器网络, 即随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点通过自组织的方式构成网络, 借助于节点中内置的形式多样的传感器测量所在周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波信号, 从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多我们感兴趣的物理现象<sup>[9]</sup>。在通信方式上, 虽然可以采用有线、无线、红外和光等多种形式, 但一般认为短距离的无线低功率通信技术最适合传感器网络使用, 为明确起见, 一般称作无线传感器网络<sup>[10]</sup>。但也不绝对, Berkeley 的 Smart Dust 因为可以像尘埃一样悬浮在空中, 有效地避免了障碍物的遮挡, 因此采用光作为通信介质<sup>[11]</sup>。

无线传感器网络与传统的无线网络(如 WLAN 和蜂窝移动电话网络)有着不同的设计目标,后者在高度移动的环境中通过优化路由和资源管理策略最大化带宽的利用率,同时为用户提供一定的服务质量保证。在无线传感器网络中,除了少数节点需要移动以外,大部分节点都是静止的。因为它们通常运行在人无法接近的恶劣甚至危险的远程环境中,能源无法替代。设计有效的策略延长网络的生命周期成为无线传感器网络的核心问题<sup>[9]</sup>。当然,从理论上讲,太阳能电池能持久地补给能源。但工程实践中生产这种微型化的电池还有相当的难度。

在无线传感器网络的研究初期,人们一度认为成熟的 Internet 技术加上 Ad-hoc 路由机制对传感器网络的设计是足够充分的<sup>[12]</sup>。但深入的研究表明:传感器网络有着与传统网络明显不同的技术要求。前者以数据为中心,后者以传输数据为目的。为了适应广泛的应用程序,传统网络的设计遵循着“端到端”的边缘论思想。强调将一切与功能相关的处理都放在网络的端系统上,中间节点仅仅负责数据分组的转发。对于传感器网络,这未必是一种合理的选择。一些为自组织的 Ad-hoc 网络设计的协议和算法并非完全适合传感器网络的特点和应用的要求<sup>[12]</sup>。节点标识(如地址等)的作用在传感器网络中就显得不是十分重要,因为应用程序不怎么关心单节点上的信息。此外,中间节点上与具体应用相关的数据处理、融合和缓存也显得很有必要。在密集性的传感器网络中,相邻节点间的距离非常短,低功耗的多跳通信模式节省功耗,同时增加了通信的隐蔽性,也避免了长距离的无线通信易受外界噪声干扰的影响。这些独特的要求和制约因素为传感器网络研究提出了新的技术问题<sup>[13]</sup>。

无线传感器网络具有十分广阔的应用前景,在军事国防、工农业、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和巨大实用价值。该领域的应用研究已经引起了世界许多国家的高度重视,并成为进入 2000 年以来公认的新兴前沿热点研究领域,被认为是将对二十一世纪产生巨大影响力的技术之一。本文正是将无线传感网络引入康复医疗领域的一次学科交叉实践。

## 1. 4 本文研究的主要内容及意义

本文分析了现有医疗辅助康复系统的不足,针对性地提出并实现了一套基于无线加速度传感器网络、远程测控技术和跨平台智能终端的医疗辅助康复系统,

提出了双核架构无线传感器节点、加速度检测的网络化、康复训练游戏化等创新观点，构建了适合于医疗康复的无线传感器网络，并对射频天线、节点功耗和网络协议性能进行仿真与实测。最后，在实际病例中完成了康复辅助系统的临床实验，取得了明显的效果。本系统的意义和未来方向，归纳如下：

#### **1. 4. 1 加速度测量的无线网络化、模式化**

目前多数的加速度计相关产品都是基于单个加速度计或一款产品中使用多个加速度计，并没有网络化的概念。网络化并非将多个加速度传感器的信息简单叠加，特别是在人体动作检测应用中，由于人体是一个有机整体，网络化的数据可以体现出一种更有价值的模式信息。

#### **1. 4. 2 将网络化的精确运动模式检测引入医学界**

让医生对人体运动有更精确的认识，更定量的描述，并最终，看到加速度曲线时，犹如看到心电图那样，可以快速了解该关节的病理情况。

#### **1. 4. 3 实现加速度计在 PC、PDA 和手机三大智能平台的开发库**

封装成 API 级开发库，方便各种加速度计应用的开发，让更多有创意的专业人员可以忽略底层技术细节，专注于上层创意实现。

#### **1. 4. 4 提出康复过程游戏化的概念**

将原本枯燥的康复训练的过程融入到动作感应游戏中，缓解病人在康复过程中的痛苦，分散病人的注意力，有助于调整病人情绪，让康复效果更好。

#### **1. 4. 5 为可植入式无线传感器网络进行前期探索**

无线传感器网络在医疗领域更深入的应用势必要做到可植入式，这样才能更好的发挥无线传感器网络的优势，但由于生物兼容性封装、体内电力供应、节点体积等原因，可植入式无线传感器网络的进展比较缓慢。

本文中所实现的可佩戴式网络可以作为可植入式的前期探索，网络拓扑、应用模式、数据处理与传输方式等都可以在日后得到继承和复用。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库